

CAPÍTULO 2: QUADROTOR HUMMINGBIRD

En primer lugar se describirá con detalle el elemento más importante, junto al sistema Vicon, para la realización de este proyecto que es el quadrotor. Para esta labor se usará como base el manual del Hummingbird [1].



Figura 1: Hummingbird

El quadrotor seleccionado para la realización de este proyecto es el AscTec Hummingbird (figura 1), un quadrotor perfectamente adecuado para los experimentos de laboratorio y con carga de peso de 200g. El chasis, los motores y los controladores del Hummingbird están optimizados para un alto rendimiento y robustez.

El Hummingbird viene dotado del sistema X-3D-BL ResearchPilot, formado a su vez por una serie de subsistemas con distintas funcionalidades.

- X-CSM
- X-Base
- ResearchPilot
- X-BL-52
- X-BLDC
- X-ACC

En el anexo a) se detallan con exactitud la funcionalidades de cada uno de estos subsistemas.

2.1. Modos de control del ResearchPilot

El ResearchPilot tiene tres modos diferentes de control:

- Modo de retención (Heading Hold).
- Modo X-ACC.
- Modo X-ACC más control en altura.

En el modo de control de vuelo X-ACC el piloto manda un ángulo absoluto que mientras mayor es el ángulo, más grande es la inclinación angular del quadrotor. Si deja la palanca centrada, el quadrotor volverá a su posición horizontal. En este modo de vuelo no es posible hacer un control extremo, sin embargo, hovering y maniobras 2D son mucho más fáciles hacer.

En este modo es particularmente importante que el vehículo no se mueva en absoluto durante la inicialización. Los errores de calibración causados por movimiento durante el inicio influirán en el rendimiento mucho más que en modo HH. Si el quadrotor se inclina más y más después de iniciar el vuelo, es probable que se moviera el quadrotor durante la inicialización. En este caso, se debe apagar el quadrotor e iniciarlo nuevamente sin moverlo.

Si la temperatura cambia rápidamente, por ejemplo cuando salga de una habitación con temperatura alta, los ángulos medidos podrían no ser totalmente correctos. Eso significa que el quadrotor se puede inclinar un poco, incluso con el pitch y roll centrados y los trimados en una posición correcta. Cuando ocurra esto, se debe esperar unos pocos minutos hasta que todos los sensores se hayan adaptado para la temperatura ambiente. También puedes cambiar al modo de vuelo HH ya que es más robusto frente a los cambios de temperatura.

El modo de control de altura está programado para que el stick de potencia en la posición central signifique mantener la altura. Es fácil poder moverse, sólo con mover hacia arriba el stick a fondo hasta que el quadrotor alcance la altura deseada. El quadrotor trata de mantener su altura tan bien como es posible. Este modo de control es más significativo para usar en el aire libre. La característica del controlador es suave y no muy agresivo, así que es posible y normal que el quadrotor no suba a la altura

deseada completamente. La luz y los flujos de aires pueden disminuir el rendimiento del sensor de presión atmosférica.

El cambio entre los modos de control se puede hacer en dos maneras diferentes:

- Con un interruptor de tres posiciones en la emisora que se asigna al canal 5 y cada posición será un modo de control.

- Con un interruptor de dos posiciones en la emisora que se asigna al canal 5 para cambiar entre los modos X-ACC y modo HH. Un segundo interruptor es asignado al canal 6 para habilitar el control de altura en el modo X-ACC. Esta configuración es la que viene por defecto, ya que este canal 6 es el mismo que se usa para cambiar de modo manual a autónomo y así garantizamos que cuando se cambia a autónomo el quadrotor no caiga a tierra.

En nuestra configuración optaremos por usar un interruptor con tres posiciones puesto que requerimos volar sin el modo de control de altura cuando estamos en autónomo.

2.2. Protocolo de comunicación

La comunicación entre el quadrotor y el PC se realiza de manera inalámbrica mediante módulos ZigBee. El ZigBee utilizado será XBee-PRO® DigiMesh™ 2.4GHz RF (figura 2).



Figura 2: XBee-PRO® DigiMesh™

La tecnología ZigBee se caracteriza por operar en las bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4 GHz (16 Canales). Tiene una tasa de transferencia: 250 Kb/s y un rango de cobertura de 10 a 75 metros dependiendo del

entorno. A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su funcionamiento no se ve afectado debido a su baja tasa de transmisión y a características propias del estándar IEEE 802.15.4.

Cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permite que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema. Teóricamente pueden existir hasta 16.000 redes diferentes en un mismo canal y cada red puede estar constituida por hasta 65.000 nodos, obviamente estos límites se ven truncados por algunas restricciones físicas (memoria disponible, ancho de banda, etc).

Por lo tanto es un protocolo que nos permiten tener un enlace de comunicación con cada quadrotor que está en vuelo sin que se produzcan interferencias por otros ZigBee o por otro tipo de señal.

2.2.1. Interfaz física

El interfaz por el cual se conecta el módulo ZigBee al Hummingbird es a través de un enlace serie situado en la placa ResearchPilot (figura 3) con niveles TTL 3.3V, a 57600 baudios, 8 bits, un bit de inicio y uno de parada.

Pin 1	GND
Pin 2	GND
Pin 3	RXD(input)
Pin 4	NC
Pin 5	TXD(output)
Pin 6	CTS(input)
Pin 7	VCC (4.3V)
Pin 8	VCC(4.3V)



Figura 3: Pint out interfaz serie

2.2.2. Protocolo de datos

El protocolo de entrada/ salida del ResearchPilot debe tener un formato de trama como se muestra a continuación:

Byte de inicio 1: >
Byte de inicio 2: *
Byte de inicio 3: >
Longitud de los datos en bytes (byte alto)
Longitud de los datos en bytes (byte bajo)
Trama de DATOS
CRC16 de los datos (byte alto)
CRC16 de los datos (byte bajo)

Como podemos observar está formado por una bandera de tres bytes, la longitud de los datos (dos bytes), la información a enviar y un código cíclico de redundancia de dicha información (dos bytes).

La trama de datos será distinta en función del tipo de trama que se transmita, que se diferenciarán por un descriptor de trama. Ahora pasamos a ver las distintas tramas de datos que podemos encontrar.

El protocolo de salida de datos desde el Hummingbird hacia el PC es muy flexible, ya que puede incluir cualquiera de las variables que maneja. Mediante un paquete de configuración que se envía al ResearchPilot se puede cambiar los datos de salida. La tasa de datos la ajustará automáticamente el ResearchPilot en pasos de 5 Hz hasta 300 Hz, en función del número de parámetros que se tenga que transmitir. El paquete de datos puede ser configurado para contener cualquier combinación arbitraria de los valores de la tabla que se muestra a continuación.

Name	ID	ID#	Size	Type	valid Values	Unit
Raw data						
gyro_pitch	ID_RAW_GYRO_PITCH	0x01	2	short	0..1023	Raw
gyro_roll	ID_RAW_GYRO_ROLL	0x02	2	short	0..1023	Raw
gyro_yaw	ID_RAW_GYRO_YAW	0x03	2	short	0..1023	Raw
acc_x	ID_RAW_ACC_X	0x04	2	short	0..1023	Raw
acc_y	ID_RAW_ACC_Y	0x05	2	short	0..1023	Raw
acc_z	ID_RAW_ACC_Z	0x06	2	short	0..1023	Raw
mag_x	ID_RAW_MAG_X	0x07	2	short	0..1023	Raw
mag_y	ID_RAW_MAG_Y	0x08	2	short	0..1023	Raw
mag_z	ID_RAW_MAG_Z	0x09	2	short	0..1023	Raw
pressure	ID_RAW_PRESSURE	0x0A	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	Raw
temperature	ID_RAW_TEMP	0x0B	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	Raw
Calculated data						
Angles						
angle_pitch	ID_ANGLE_PITCH	0x0C	4	int	-90000..+90000	1/1000°
angle_roll	ID_ANGLE_ROLL	0x0D	4	int	-90000..+90000	1/1000°
angle_yaw	ID_ANGLE_YAW	0x0E	4	int	0..+360000	1/1000°
angle_pitch_acc	ID_ANGLE_PITCH_ACC	0x0F	4	int	-90000..+90000	1/1000°
angle_pitch_roll	ID_ANGLE_ROLL_ACC	0x10	4	int	-90000..+90000	1/1000°
Angular velocities						
angvel_pitch	ID_AV_PITCH	0x11	4	int	-512..+512	0,79 * °/s
angvel_roll	ID_AV_ROLL	0x12	4	int	-512..+512	0,79 * °/s
angvel_yaw	ID_AV_YAW	0x13	4	int	-512..+512	0,79 * °/s
Accelerations						
acc_x	ID_ACC_X	0x14	2	short	-1500..1500	mg
acc_y	ID_ACC_Y	0x15	2	short	-1500..1500	mg
acc_z	ID_ACC_Z	0x16	2	short	-1500..1500	mg
acc_absolute_length	ID_ACC_LENGTH	0x17	2	short	0..1500	
translational accelerations (pseudo values)						
trans_acc_x	ID_TRANS_ACC_X	0x18	2	short	-2 ¹⁵ ..2 ¹⁵	pseudovalue
trans_acc_y	ID_TRANS_ACC_Y	0x19	2	short	-2 ¹⁵ ..2 ¹⁵	pseudovalue
trans_acc_z	ID_TRANS_ACC_Z	0x1A	2	short	-2 ¹⁵ ..2 ¹⁵	pseudovalue
magnetic field (calibrated)						
mag_x	ID_MAG_X	0x1B	4	int	-512..512	no unit
mag_y	ID_MAG_Y	0x1C	4	int	-512..512	no unit
mag_z	ID_MAG_Z	0x1D	4	int	-512..512	no unit
mag_heading	ID_MAG_HEADING	0x1E	4	int	0..360000	1/1000°
Height)						
height (filtered)	ID_HEIGHT	0x1F	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	mm (relative)
dheight (filtered)	ID_DHEIGHT	0x20	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	mm/s
height_reference	ID_HEIGHT_REFERENCE	0x21	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	mm (relative)
dheight	ID_DHEIGHT_REFERENCE	0x22	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	mm/s
speed_z	ID_SPEED_Z	0x23	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	pseude Z speed
Controller Data						
control outputs						
pitch	ID_CO_PITCH	0x24	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	0..200, 100=middle
roll	ID_CO_ROLL	0x25	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	0..200, 100=middle
yaw	ID_CO_YAW	0x26	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	0..200, 100=middle
thrust	ID_CO_THRUST	0x27	4	int	-2 ³¹ ..2 ³¹	0..200
RC data						
lock	ID_RC_LOCK	0x28	2	short	0..1	1=lock
channel0	ID_RC_CHAN0	0x29	2	unsigned short	0..4096	
channel1	ID_RC_CHAN1	0x2A	2	unsigned short	0..4096	
channel2	ID_RC_CHAN2	0x2B	2	unsigned short	0..4096	
channel3	ID_RC_CHAN3	0x2C	2	unsigned short	0..4096	
channel4	ID_RC_CHAN4	0x2D	2	unsigned short	0..4096	
channel5	ID_RC_CHAN5	0x2E	2	unsigned short	0..4096	
channel6	ID_RC_CHAN6	0x2F	2	unsigned short	0..4096	
channel7	ID_RC_CHAN7	0x30	2	unsigned short	0..4096	
Misc						
uptime	ID_UPTIME	0x31	4	int	0..2 ³²	seconds
voltage	ID_VOLTAGE	0x32	4	int	0..255	battery voltage in 1/10V
current	ID_CURRENT	0x34	2	unsigned short	0..65535	current in 1/100A
cpu_load	ID_CPULOAD	0x33	2	unsigned short	0..1000	cycles per second

Mediante una trama de configuración que se puede mandar al ResearchPilot, es posible configurar los datos de la tabla que queremos que nos mande. La trama de datos tendrá la siguiente forma:

```
struct trama_config
{
    unsigned char packetdescriptor;
    unsigned char data_select[128];
};
```

En el array data_select de 128 bytes de tamaño es donde debemos poner los ID# de los valores que queremos recibir del ResearchPilot. El otro parámetro que aparece es un identificador de trama para saber que lo que se recibe es una trama de configuración cuyo valor es 0x20.

Desde el ResearchPilot se transmitirá una trama que tendrá la forma que se muestra a continuación, donde el descriptor será 0x19.

```
struct trama_ResearchPilot
{
    unsigned char packetdescriptor;
    unsigned char length;
    unsigned char data[128];
};
```

Ahora bien, la trama de datos que se envía al quadrotor para controlarlo desde el PC mediante la interfaz Zigbee tendrá una forma distinta a las anteriores, puesto que lo que se pretende hacer es controlar y por lo tanto tendrá la siguiente forma la trama de datos.

```
typedef struct estructura_dato{
    unsigned char packetdescriptor;
    unsigned short roll;
    unsigned short pitch;
```

```

        unsigned short yaw;
        unsigned short thrust;
        unsigned short flags;
    }estructura_dato;

```

Los datos que se envían al quadrotor son los ángulos de navegación (roll-pitch-yaw), la potencia aplicada a los motores, un descriptor de paquete para identificar la información que contiene los datos y por último dos bytes de banderas. A continuación se detallan todos estos parámetros junto con su rango de valores:

- Packetdescriptor: para un paquete de datos debe de ser 0x17.
- Pitch: [0,4095], valor medio 2048
- Roll: [0,4095], valor medio 2048
- Thrust: [0,4095]
- Yaw: [0,4095], valor medio 2048
- Flags:

Bit 0: Control de pitch a través del interfaz serie.

Bit 1: Control de roll a través del interfaz serie.

Bit 2: Control de thrust a través del interfaz serie.

Bit 3: Control de yaw a través del interfaz serie.

Bit 4: Modo ACC on/off.

Bit 5: Control de altura on/off (sólo con ACC).

Bit 6: Sobreescritura de los modos ACC/altura (0=modos seleccionados por RC, 1=modos seleccionados por bit 4 y 5).

Bit 7: Se indica al quadrotor que transmita una trama de estado.

Bit 8-15: Especifica la tasa de envío de paquetes que envía el quadrotor en múltiplos de 5Hz (0 = off, 1 = 5 Hz, 20 = 100 Hz, 200 = 1 Khz.).

La bandera debe tener unos valores adecuados para el buen funcionamiento de la comunicación. En nuestro caso el valor que tendrá flags será “000000000101111”, es decir tendrá activado el control de roll, pitch, yaw y modo ACC. Además se le indica al ResearchPilot que no envíe datos poniendo a 0 el valor de la tasa de envío puesto que no los necesitamos.

2.2.3. Integración software del protocolo de datos

Para la transmisión y recepción de los datos desde el PC se utilizará el puerto serie y por este motivo será necesario utilizar una serie de funciones para poder realizar la comunicación. Todas las funciones utilizadas se basan en la librería serial_port para Linux, realizada en enero de 2009 por Juan González Gómez [2].

Estas funciones serán, por un lado abrir/cerrar el puerto serie a utilizar. A la hora de abrir el puerto debemos especificar la velocidad de transmisión en baudios y el nombre del puerto (ttyUSB0,1,2,...), y devolverá un entero que identificará al puerto en el resto del código. Para cerrar el puerto sólo hay que pasarle el identificador del puerto a una función para cerrar.

Por otro lado tendremos las funciones de enviar/recibir datos. La trama se debe enviar tal y como especifica el protocolo de entrada, es decir las variables length y CRC se tienen que transmitir primero el byte alto y luego el byte bajo. Además se transmite byte a byte a través de un puntero char por lo que hay que apuntar a las distintas variables por dicho puntero. Para recibir los datos tendremos que tener un buffer lo suficientemente grande para que no desborde y debemos especificar el tiempo máximo que debe esperar a recibir datos.



Figura 4: Diagrama de flujo Dataquad

En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo del proceso que se realiza para enviar una trama al quadrotor. En primer lugar se forma la estructura de datos y se calcula su código de redundancia cíclica (CRC16). Posteriormente se añade la bandera, el tamaño de la trama y el CRC16, y ya estará lista para ser enviada por el puerto serie.

En el Anexo c), podemos encontrar con más detenimiento las funciones que se encargan de todo el proceso de generación de la trama y la comunicación entre el PC y el quadrotor.

2.3. Software

2.3.1. X-control

X-control es el software específico para poder comunicar directamente las placas del Hummingbird y el ordenador, para así poder actualizar el firmware entre otros parámetros.

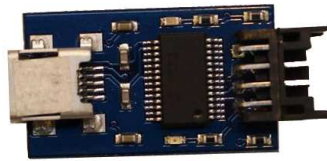


Figura 5: X-USB

Conectando el módulo X-USB (figura 5) a la interfaz serie de la placa y este al ordenador por el puerto USB, ya podremos establecer la conexión con la placa. Para la actualización de firmware es necesario poner previamente un jumper en la placa. Cada una de las actualizaciones las podremos encontrar en la siguiente dirección: <http://www.asctec.de/main/updates/>.

En la figura 6 se muestra la ventana principal del X-Control donde debemos seleccionar la placa a la cual estamos conectado y posteriormente establecer la conexión.



Figura 6: Ventana principal X-Control

Si conectamos con la placa X-Base nos muestran una pantalla como la que se muestra en la figura 7, en la que podemos observar diferentes opciones.

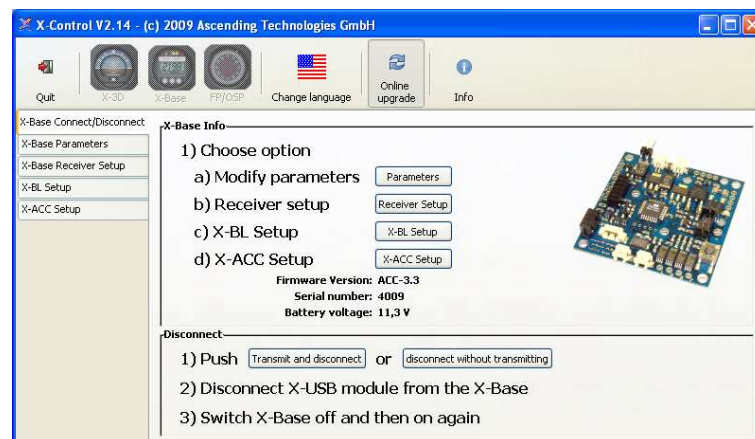


Figura 7: X-Base

2.3.1.1. Modify parameters:

Aquí podremos seleccionar los niveles de tensión de la batería para los cuales consideraremos como batería llena, casi llena o vacía. También debemos especificar el valor máximo de corriente a la entrada, que debe de ser 35A. La figura 8 muestra la ventana con todas las opciones que pueden ser configuradas.

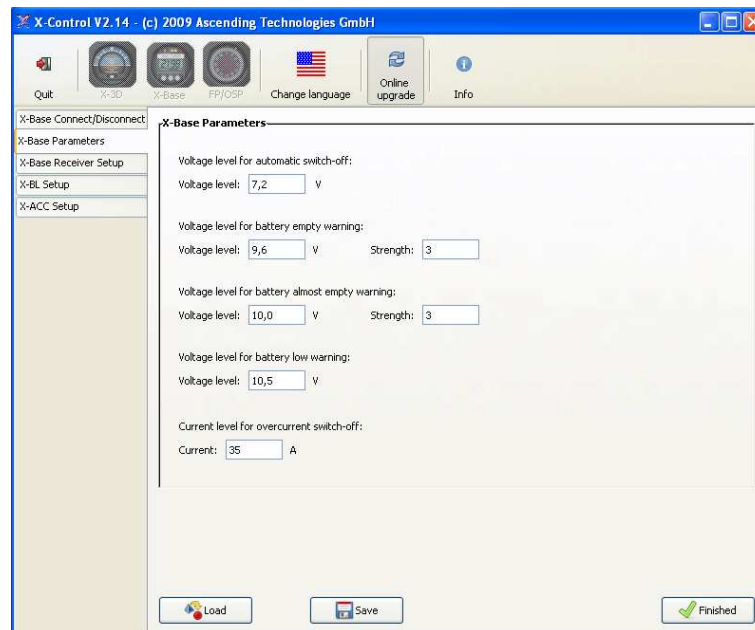


Figura 8: X-Base, Modify Parameters

2.3.1.2. X-BL setup:

En esta opción se podrá configurar los controladores de los rotores ya sea cambiando el sentido de giro del rotor o actualizando el firmware (figura 9).

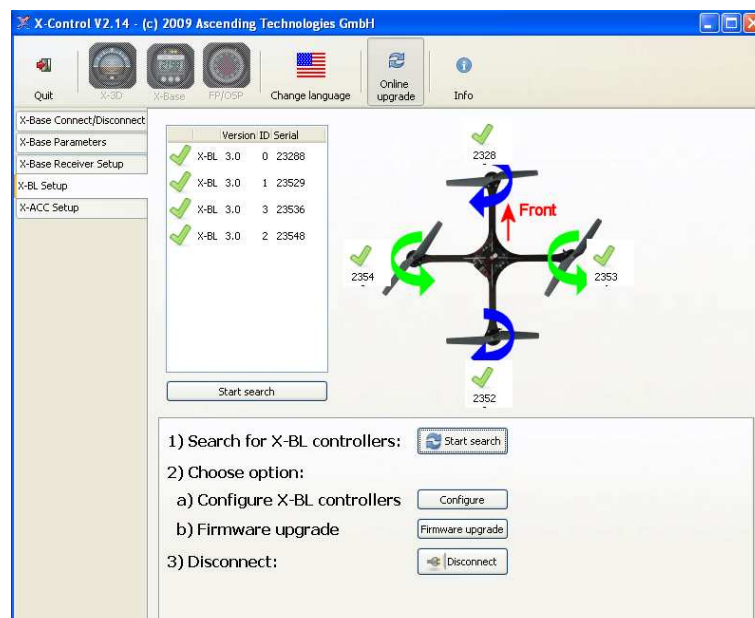


Figura 9: X-BL Setup

Por otro lado se puede conectar con la placa X-3D o FP/OSP, donde podremos realizar la configuración de la emisora y de los modos de vuelo. Al conectar con el FP/OSP nos muestran una pantalla como la que se muestra en la figura 10, en la que podemos observar diferentes opciones.

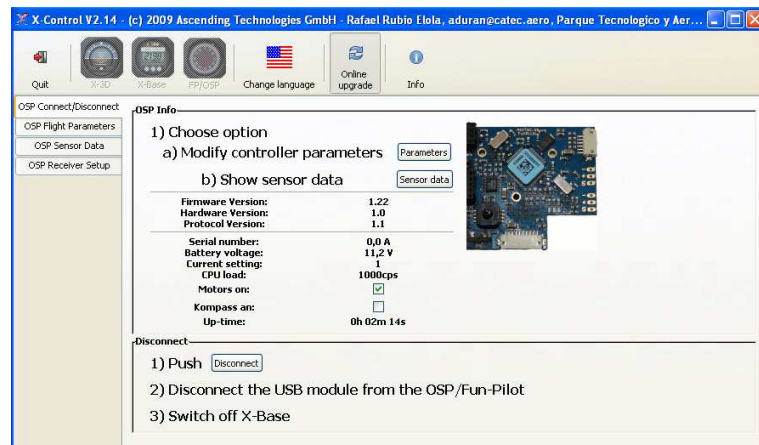


Figura 10: FP/OSP

2.3.1.3. Modificar parámetros de control de vuelo

El Hummingbird tiene tres modos de vuelo: ACC, Heading Hold (HH) y control de altura. Además dentro de cada uno de estos modos tiene cuatro tipos de control: fast, medium, slow y extrem. Estos modos son seleccionados desde la emisora mediante un switch en el caso de los modos de vuelo y mediante combinaciones en los stick en los modos de control. En la figura 11 mostramos como debemos colocar los stick de la emisora para cambiar de modo de control.



Figura 11: Configuración de los modos de control

En la figura 12 comprobamos que para cada modo de vuelo tenemos cuatro modos de control independientes. Lo que debemos de hacer es ajustar los parámetros de cada modo de vuelo en función a cada modo de control. Todos estos parámetros vienen ya configurados por defecto para que el quadrotor tenga un buen comportamiento.

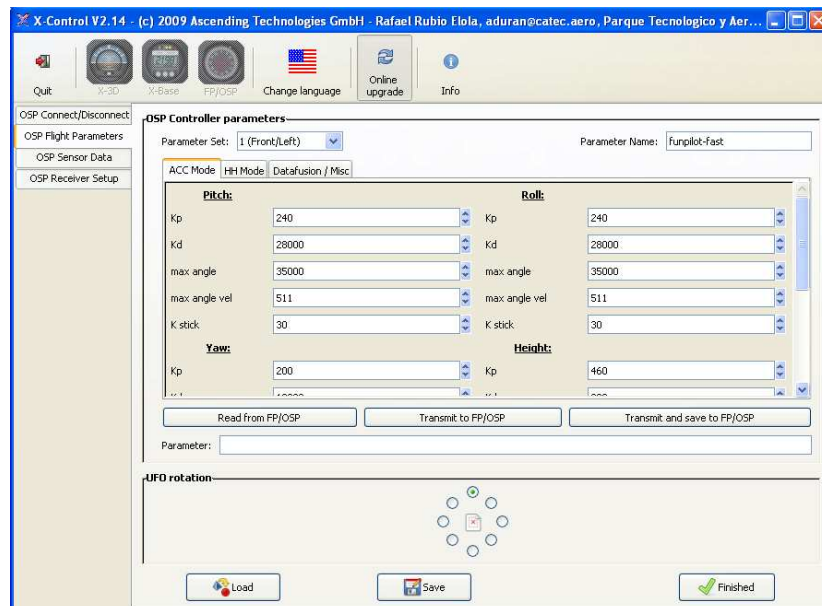


Figura 12: OSP Flight Parameters

En la pestaña “Datafusion/Misc” debemos seleccionar que método queremos usar para cambiar los modos de vuelos. Como ya hemos indicado anteriormente deseamos usar el método de cambiar de modo de vuelo mediante un switch de tres posiciones.

2.3.1.4. Visor de parámetros

En esta opción tenemos la posibilidad de visualizar todos los parámetros (figura 13) que maneja el quadrotor desde las variables que mide o calcula hasta lo que le llega por los distintos canales de la emisora.

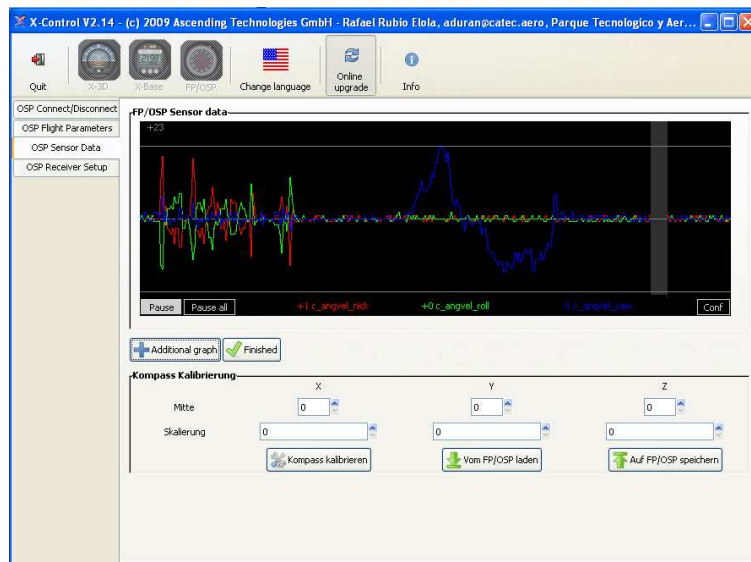


Figura 13: OSP Sensor Data

2.3.1.5. Configuración de la emisora

Esta opción es muy importante, pues en ella se hace el enlazado y calibrado de la emisora con el quadrotor. La figura 14 muestra el interfaz donde se procede a la configuración de la emisora. En primer lugar hay que enlazar la emisora, para ello hacemos click en el botón “Bind spektrum receiver to transmitter” y seguimos la indicaciones que nos muestra. Una vez enlazada debemos calibrar cada uno de los canales, que podremos hacer de forma automática o manual. La forma más cómoda es la automática pues sólo debes seguir los pasos que te van indicando por pantalla para realizar el calibrado. Hay que tener cuidado a la hora de asignar los switches, el primer switch que hay que asignar se trata de “FLT MODE” que se le asigna la salida “Ext 1” y será el encargado de conmutar en los diferentes modos de vuelo. Y finalmente se asignará el switch “GEAR” a la salida “Ext 2” que valdrá para conmutar entre el control manual o autónomo.

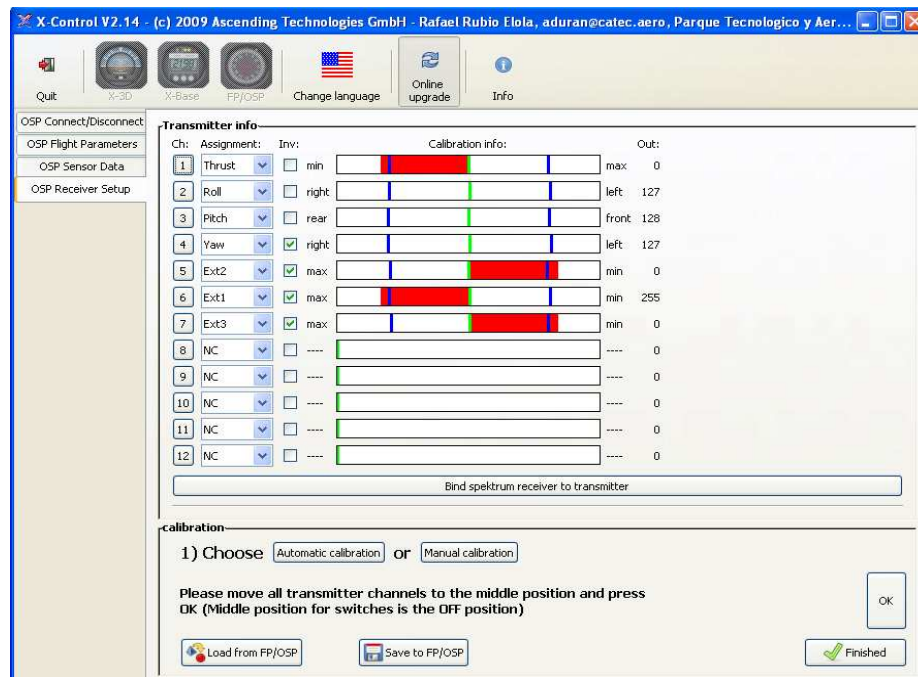


Figura 14: OSP Receiver Setup

2.3.2. X-3D-BL ResearchPilot Testsoftware

Este programa nos ofrece una interfaz gráfica de usuario para visualizar los paquetes de datos que transmite el ResearchPilot. Además se puede usar para mandar comandos a través de la interfaz en serie y comprobar el funcionamiento de dicha interfaz.

En la figura 15 podemos observar que la interfaz se divide en dos partes, la superior para la representación de los datos que el ResearchPilot (quadrotor) transmite hacia el PC y en la parte inferior para generar los comandos que se mandan al quadrotor. Desde esta parte inferior podemos pilotar el quadrotor mediante el teclado que equivale a la pulsación de los botones de la interfaz.

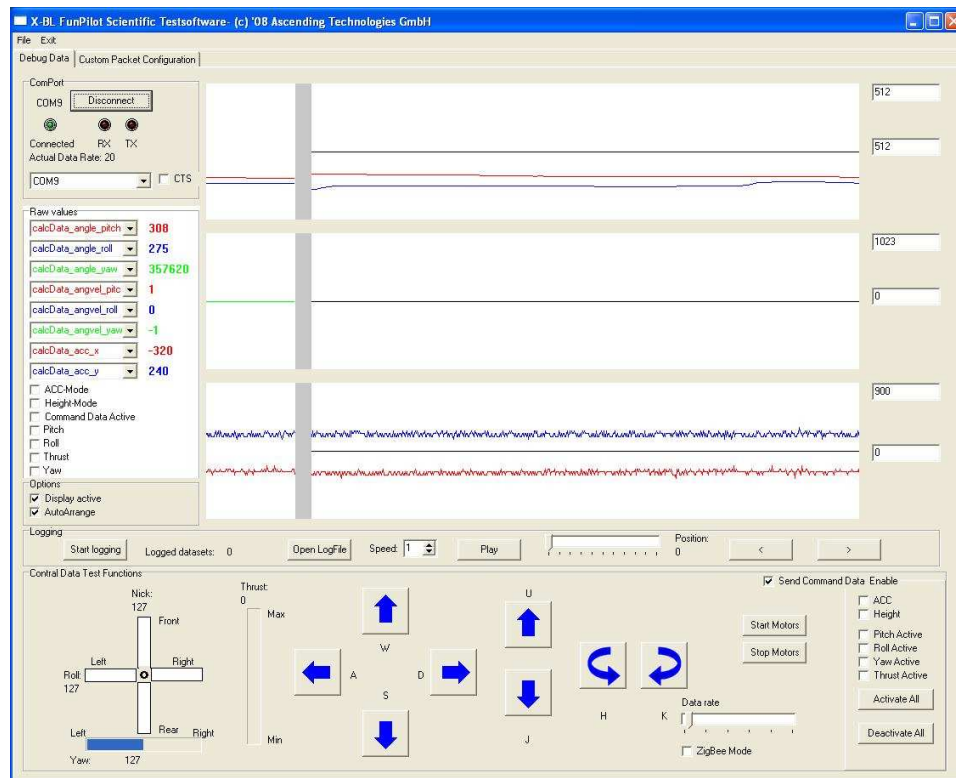


Figura 15: ResearchPilot Testsoftware

